EPT 昆虫群落分布与环境因子的相关性

杜瑞卿，王庆林，张征田，王明伟

（南阳师范学院生命科学系，河南南阳 473061）

摘要：为了研究 EPT 昆虫与水环境因子的相关性，在 2006 年 6 – 7 月和 9 – 10 月分季在丹江口水库两条主水源河流上分设 5 个采样点，对 EPT 昆虫和水质采样检测。结果共检测到 EPT 昆虫 780 头，为 12 科 16 种（或种团），水质理化指标 7 项。简单相关分析与复相关分析都表明，氮浓度、磷浓度、生化需氧量与 EPT 昆虫密度呈极显著正相关（$P < 0.01$），与 EPT 昆虫的种数呈极显著负相关（$P < 0.01$）。典型相关分析表明，EPT 昆虫组与环境因子组有极显著的正相关（$P < 0.0001$），EPT 昆虫组主要目为蜉蝣目和襀翅目，环境因子组主要因子为氮浓度、磷浓度、生化需氧量。由此得出：即使在低污染、低营养程度的水环境下，EPT 昆虫与环境因子也表现出群体的显著相关性，环境因子对 EPT 昆虫分布有重要影响。

关键词：EPT 昆虫；环境因子；水质监测；典型相关

中图分类号：Q968 **文献标识码**：A **文章编号**：0454-6296(2008)03-0336-06

The correlation between EPT community distribution and environmental factors

DU Rui-Qing，WANG Qing-Lin，ZHANG Zheng-Tian，WANG Ming-Wei (Department of Biology，Nanyang Normal University，Nanyang，He'nan 473061，China)

Abstract：In order to study the correlation between EPT insects and environmental factors，five sampling sites were respectively selected to test EPT insects and the quality of water in the two major water source rivers of Danjiangkou Reservoir from June to July and September to October in 2006. In total，780 individuals of 16 species (or species groups) in 12 families of EPT insects were collected，and seven physical and chemical monitoring indexes related to water quality were assayed. Both simple and multiple correlation analysis showed that the nitrogen concentration，phosphorus concentration，biochemical oxygen demand were significantly positively correlated with the density of EPT insects ($P < 0.01$)，but negetively correlated with the species number ($P < 0.01$). Canonical analysis showed that the groups of EPT insects，which were mainly Ephemeroptera and Plecoptera，were significantly positively correlated with such main environmental factors as the nitrogen concentration，phosphorus concentration，and biochemical oxygen demand ($P < 0.0001$). So it is concluded that even in the low pollution and nutrition water environment，EPT insects were significantly correlated in groups with environmental factors，and were greatly affected by environmental factors.

Key words：EPT insects；environmental factors；water quality monitoring；canonical correlation

昆虫群落的分布、生长与其生存环境关系极为紧密（季荣和谢宝瑜，2006）。通过观测和研究，掌握(环境因素与昆虫生长的关系及其影响程度，对于研究昆虫、防治昆虫或培养利用昆虫都有重要性（王正军，2004）。在不同的水域中生活的昆虫种类，主要决定于水的温度、矿物质、有机质和 pH 值等，因而水体中生活着的不同适应性的昆虫种类可反映出水体的污染状况；在同一水域中，水生昆虫的群落结构的变化反映着水质变化的程度，根据水生昆虫对水质污染的耐污性高低不同，可以监测和评价水体污染情况（黄小清和蔡笃程，2006）。基于这种原理，水生昆虫已成为水质生物监测的主要指示生物。目前，理论上可应用于水质监测的水生昆虫主要有鞘翅目、双翅目、半翅目、鳞翅目、蜻蜓目、广翅目、脉翅

基金项目：南阳师范学院科研资助项目

作者简介：杜瑞卿，男，1968 年生，硕士，讲师，主要从事生物数学研究，E-mail：duruiqing8@163.com

收稿日期 Received：2007-07-22；接受日期 Accepted：2007-12-19

目、弹尾目、蜉蝣目、襀翅目和毛翅目等 11 个目的 100 多种水生昆虫（徐希莲，2001）。其中蜉蝣目（Ephemeroptera）、襀翅目（Plecoptera）、毛翅目（Trichoptera）（简称 EPT）是分布最广泛、对水质最敏感、应用最多的 3 个目（李强等，2006）。

南水北调中线水源区——位于豫、鄂、陕三省交界处的丹江口水库，是亚洲最大的人工淡水湖，控制流域面积 9.5×10^4 km^2，总库容量达 408.5×10^8 t（徐黎和李光华，2003）。取水源头在河南省南阳市境内包括西峡、淅川和内乡 3 个县（图 1）。丹江口水库的入库河流水量大，水质较好。但随着库区周围地区经济的不断发展，自然和人为因素使入库干、支流水质发生变化，必将影响丹江水库的水质。中线水源区的水质状况，不仅关系到该水源区居民生活用水和工农业用水，而且影响到下游以及京、津地区居民生活用水和工农业用水。因此，及时准确科学地对该水源区进行监测、分析研究和合理评价，揭示 EPT 昆虫与环境因子之间的相互关系，不仅对研究 EPT 昆虫的生活习性有重要性，而且对研究丹江口水库生态环境、水质变化及其防治有着重要的现实意义。

目前，尚未发现有关该区域 EPT 昆虫与环境因子之间相互关系的研究报道。因此，本文作者通过长时间的多项理化指标和 EPT 昆虫的监测，采用简单相关系数、复相关系数、回归分析和典型相关分析，研究多项水环境因子与 EPT 昆虫种类、数量间的相互关系，旨在研究水环境因子对 EPT 昆虫生长的影响，揭示 EPT 昆虫的生长规律，同时也为建立水源区生态监测机制提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 采样点布设和采样时间

共设 5 个采样点，在丹江口水库的主水源之一老灌河的上、中、下游布设 3 个采样点（图 1），上游在石界河（S1）、中游在西峡（S2）、下游在淅川（S3）。上游污染较轻，中下游工业和人口较多，污染较重。在丹江上设 2 个采样点（图 1）：大石桥（S4）和荆紫关镇（S5），该两处也受到一定污染。为了克服由于水底地质分布不均、水流速不同对采样结果的影响，在每个采样点，选取较大的 100 m 长的水流速相对平缓的采样区域，在该区域内设置分散的采样工作点，即距河两岸 1.5 m 处各取两个区域内工作点，河中心取 1 个区域内工作点。在每一处采样区域内的工作点上同时进行水样采集和昆虫标本采集。将区域内 5 个工作点的值加以平均，做为相应采样点的值。这样采取较大采样区较分散的工作点的采样方法，采样结果在理论上可较大可能地符合实际（黄小清和蔡笃程，2006；国家环保局水生生物监测手册编委会，1993）。采样时间是 2006 年 6－7 月和 9－10 月分季进行，每季采样 2 次，2 次间隔约 1 个月。每季 2 次测量结果进行 T 统计假设检验，如无显著差异，则将 2 次测量值进行简单平均，作为季测量值；如果有显著差异，则采用加权平均法计算均值，作为季测量值。

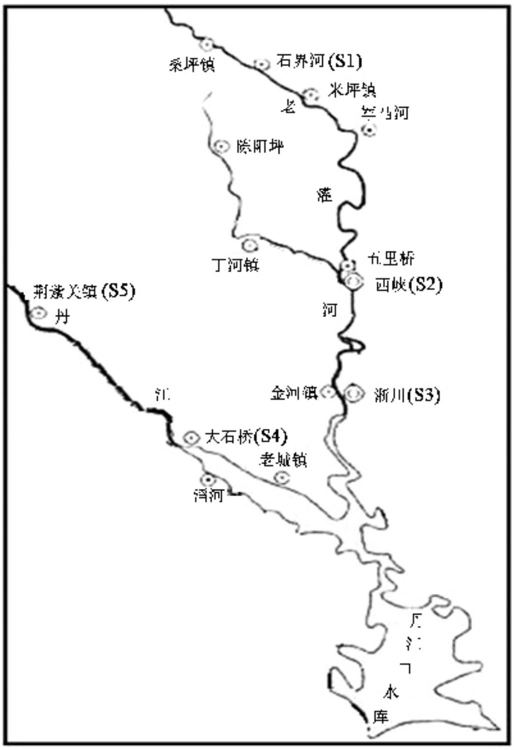

图 1 采样点（S1～S5）布设位置

Fig. 1 Location of the sampling sites (S1－S5) of water source area

1.2 水样采集与测定

水质采样指标：水温（T）、pH、溶解氧（DO），由便携式仪器测定。总磷（TP）、总氮（TN）、生化需氧量（BOD）、化学需氧量（COD）参照《水和废水监测分析方法》测定（国家环境保护总局，2002）。

1.3 EPT 昆虫标本采集

采用彼得逊采泥器（Peterson grab）在每个采样点的 5 个区域内采样工作点进行采集昆虫标本。采样面积为 0.6 m^2，所采标本直接在野外用 40 目铜筛筛选，并用 5%～10% 的福尔马林液固定后带回实验室。标本一般鉴定到科或属。

1.4 相关性分析

简单相关分析 :每一 EPT 昆虫目的种数、密度与水环境因子(水温、PH、溶解氧、总氮、总磷、化学需氧量、生化需氧量)每一项的相关系数。

复相关分析 :根据简单相关系数的大小,选择相关系数较大的水环境因子,对每一 EPT 昆虫目做多元线性回归分析,求出复相关系数和回归系数,以确定对昆虫目有重要影响的环境因子。

简单相关分析、复相关分析可利用软件 SPSS13.0 进行运算。

典型相关分析(刘建康,2000) :研究昆虫目变量组 V(包括蜉蝣目、襀翅目、毛翅目 3 变量)和环境因子变量组 U(包括水温、PH、溶解氧、总氮、总磷、化学需氧量 7 个变量)之间的相关性。

为了研究两组变量的相关性,我们可以把两组变量的相关性转化为两个变量的相关性来考虑,即考察第 1 组变量的线性组合与第 2 组变量的线性组合的相关性。通过选择线性系数使线性化后的变量有最大的相关系数,形成第 1 对典型变量,依此可以形成第 2 对、第 3 对典型变量,并使各对典型变量之间互不相关,这样就将两组变量间的相关转化为几对典型变量间的相关。

由于一组变量可以有无数种线性组合(线性组合由相应的系数确定),因此必须找到既有意义又可以确定的线性组合。典型相关分析(canonical correlation analysis)就是要找到这两组变量线性组合的系数,使得这两个由线性组合生成的变量(和其他线性组合相比)之间的相关系数最大。

建立第 1 对典型变量(函数)的原则 :尽量使所建的 2 个典型变量之间的相关系数最大化,就是在 2 个变量组各自的总变化中先寻求他们之间最大的一部分共变关系,并用一对典型变量所描述。因而,第一维度上的典型相关系数也随之求的。

建立第 2 对典型变量(函数)的原则 :继续在两组变量剩余的变化中寻找第 2 个最大的共变部分,形成第 2 对典型变量,并解出第二维度上的典型相关系数。

依此类推,直至所有变化部分被剥离完毕。本文利用软件 NOSA2.30 进行运算。

2 结果与分析

2.1 水源区 EPT 昆虫检测结果及分析

5 个采样点共获得 EPT 昆虫幼虫 780 头,归属 12 科 16 种(或种团)(表 1)。蜉蝣目(Ephemeroptera)5 科 8 属 356 头,占总数的 46.7% ;襀翅目(Pleeoptera)2 科 150 头占总数的 19.2% ;毛翅目(Trichoptera)5 科 274 头占总数的 35.1%。各点的 EPT 昆虫密度和种数见表 2。

淅川(S3)大石桥(S4)的昆虫密度较大,但种数较少。石界河(S1)密度最小,但种数最多,特别是不耐污染的毛翅目密度较高,种数也多,说明 S1 处水质较好,污染低,S3、S4 处水营养度高。

表 1 EPT 昆虫名称及分布

Table 1 The name and distribution of EPT

昆虫类群 Insect taxa			采样点 Distribution sites				
			S1	S2	S3	S4	S5
蜉蝣目 Ephemeroptera	蜉蝣科 Ephemeridae	蜉蝣属 *Ephemera* sp.	+	+	+	+	+
	小蜉科 Ephemerellidae	带肋蜉属 *Cineticostella* sp.	+	+	−	−	+
		小蜉属 *Ephemerlla* sp.	+	+	+	+	+
		锯形蜉属 *Serratella* sp.	+	−	−	−	−
	细蜉科 Caenidae	细蜉属 *Caenis* spp.	+	+	−	−	+
	扁蜉科 Heptageniidae	扁蜉属 *Heptagenia* sp.	+	+	−	−	−
		扁蚴蜉属 *Ecdyonurus* spp.	−	−	−	−	+
	等蜉科 Isonychiidae	等蜉属 *Isonychia* sp.	+	−	−	−	+
襀翅目 Plecoptera	叉襀科 Nemouridae	倍叉襀属 *Amphinemura* sp.	+	+	−	−	+
		叉襀属 *Nemoura* spp.	+	+	+	+	+
	襀科 Perlidae	spp.	+	−	−	−	+
毛翅目 Trichoptera	原石蛾科 Rhyacophilidae	spp.	+	−	−	+	−
	长角石蛾科 Leptoceridae	spp.	+	−	+	+	+
	鳞石蛾科 Lepidostomatidae	spp.	+	−	−	+	−
	沼石蛾科 Limnephilidae	spp.	+	+	+	+	+
	纹石蛾科 Hydropsychidae	spp.	+	+	+	+	+

+ 表示检测到 Found ; − :表示未检测到 Not found.

表 2　各点的 EPT 昆虫密度和种数

Table 2　Density and species number of EPT insect in every site

昆虫目 Insect order	时间 Time	采样点 Distribution sites S1 密度 Density (ind./m²)	S1 种(或种团)数 Species (species group) number	S2 密度 Density (ind./m²)	S2 种(或种团)数 Species (species group) number	S3 密度 Density (ind./m²)	S3 种(或种团)数 Species (species group) number	S4 密度 Density (ind./m²)	S4 种(或种团)数 Species (species group) number	S5 密度 Density (ind./m²)	S5 种(或种团)数 Species (species group) number
蜉蝣目 Ephemeroptera	夏季(6－7 月) Summer (June－July)	27	7	50	5	70	2	68	2	52	6
	秋季(9－10 月) Autumn (Sep.－Oct.)	25	6	52	5	75	2	72	2	58	5
襀翅目 Plecoptera	夏季(6－7 月) Summer (June－July)	23	3	31	2	42	1	47	1	46	3
	秋季(9－10 月) Autumn (Sep.－Oct.)	24	3	33	2	50	1	50	1	49	3
毛翅目 Trichoptera	夏季(6－7 月) Summer (June－July)	45	5	37	2	30	3	31	5	36	3
	秋季(9－10 月) Autumn (Sep.－Oct.)	46	5	40	2	26	3	28	5	38	2

2.2　水源区理化检测指标结果及分析

水源区理化检测指标结果见表 3。可以看出,温度、溶解氧、化学需氧量、生化需氧量在 5 采样点上的相对变化较大,而其它指标在 5 采样点上的变化不大。

表 3　南水北调中线水源区理化检测结果

Table 3　The result of physiochemical monitoring on water source area of the middle line project of transferring water from south to north

采样点 Sampling sites	采样时间 Sampling time	T (℃)	pH	DO (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
S1	夏季(6－7 月) Summer (June－July)	27.0	6.91	7.37	0.535	0.001	10.0	2.00
	秋季(9－10 月) Autumn (Sep.－Oct.)	23.0	6.72	7.15	0.627	0.002	11.0	2.00
S2	夏季(6－7 月) Summer (June－July)	26.4	6.50	7.67	0.717	0.005	12.6	2.34
	秋季(9－10 月) Autumn (Sep.－Oct.)	23.6	6.20	8.12	0.749	0.005	13.9	4.10
S3	夏季(6－7 月) Summer (June－July)	25.0	6.24	8.74	0.914	0.006	13.1	4.65
	秋季(9－10 月) Autumn (Sep.－Oct.)	22.0	6.02	8.49	0.986	0.006	14.5	5.10
S4	夏季(6－7 月) Summer (June－July)	25.0	7.31	7.02	0.937	0.005	11.8	4.27
	秋季(9－10 月) Autumn (Sep.－Oct.)	21.6	6.29	8.24	0.914	0.005	12.6	4.06
S5	夏季(6－7 月) Summer (June－July)	26.0	7.00	7.06	0.711	0.002	11.0	2.34
	秋季(9－10 月) Autumn (Sep.－Oct.)	23.0	7.20	7.85	0.704	0.003	13.0	2.56

T:水温 Water temperature;DO:溶解氧 Dissolved oxygen;TN:总氮 Total nitrogen;TP:总磷 Total phosphorus;COD:化学需氧量 Chemical oxygen demand;BOD:生化需氧量 Biochemical oxygen demand.

2.3　相关分析

2.3.1　简单相关分析　蜉蝣目、襀翅目、毛翅目与环境因子之间的相关系数,结果见表 4。可以看出,蜉蝣目密度与氮浓度、磷浓度、生化需氧量有极其显著的正相关性,与化学需氧量有显著正相关性,而与其它环境因子没有显著相关性。种数也是与氮浓度、磷浓度和生化需氧量具有显著的负相关性。襀翅目密度只与氮浓度有显著的正相关性,与其它环境因子没有显著相关性。种数也只与氮浓度、磷浓度、生化需氧量有极其显著的负相关性。毛翅目密度只与氮浓度、磷浓度有极其显著的负相关性,与生化需氧量具有显著的负相关性,与其它环境因子没有显著相关性。种数与环境因子均没有显著相关性。相关系数表明,EPT 昆虫密度与氮浓度、磷浓度、生化需氧量相关紧密,对 EPT 昆虫的影响较大,而且是正相关,种数与氮浓度、磷浓度、生化需氧量也相关紧

密，但表现为负相关。

2.3.2 回归分析与复相关系数 根据表 2 和表 3 进行回归分析，X_1（蜉蝣目密度）、X_2（襀翅目密度）、X_3（毛翅目密度），Y_1（水温）、Y_2（pH）、Y_3（溶解氧）、Y_4（氮浓度）、Y_5（磷浓度）、Y_6（化学需氧量）、Y_7（生化需氧量）。X_1 与 Y_4，Y_5，Y_6，Y_7 具有显著回归关系，复相关系数 $R = 0.949$，方差分析 $F = 11.439$，$P = 0.009 < 0.01$，X_1 与 Y_4，Y_5，Y_6，Y_7 具有回归关系；$X_1 = -77.082 + 134.64\ Y_4 - 1791.09\ Y_5 + 3.847\ Y_6 - 3.982\ Y_7$；$X_2$ 与 Y_4，Y_7 具有显著回归关系，复相关系数 $R = 0.811$，方差分析 $F = 6.713$，$P = 0.024 < 0.05$，$X_2 = -18.534 + 101.58\ Y_4 - 6.35Y_7$；$X_3$ 与 Y_3，Y_4，Y_5，Y_7 具有回归关系，$R = 0.972$，方差分析 $F = 21.199$，$P = 0.002 < 0.05$，$X_3 = 98.618 - 3.015\ Y_3 - 67.88\ Y_4 + 918.715\ Y_5 + 2.916\ Y_7$。简单相关分析与回归分析取得基本一致的结果。陈其羽等研究东湖表明，底栖动物密度与总氮、总磷有显著的正相关（刘建康，2000），与本研究的结果基本一致。

表 4 EPT 昆虫与环境因子的简单相关系数

Table 4 The correlation coefficients of plankton and environmental factors

昆虫 Insect order	指标 Index	相关系数 Correlation coefficients						
		T (℃)	pH	DO (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	COD (mg/L)	BOD (mg/L)
蜉蝣目 Ephemeroptera	密度 Density	-0.421	-0.318	0.598	0.934**	0.822**	0.708*	0.838**
	种(或种团)数 Species (or species group) number	0.482	0.378	-0.575	-0.973**	-0.857**	-0.607	-0.892**
襀翅目 Plecoptera	密度 Density	-0.456	0.007	0.330	0.760*	0.483	0.486	0.581
	种(或种团)数 Species (or species group) number	0.337	0.512	-0.584	-0.924**	-0.904**	-0.590	-0.901**
毛翅目 Trichoptera	密度 Density	0.383	0.374	-0.559	-0.984**	-0.787**	-0.602	-0.818*
	种(或种团)数 Species (or species group) number	-0.076	0.302	-0.491	-0.091	-0.383	-0.622	-0.153

**：$P < 0.01$；*：$P < 0.05$

2.2.3 典型相关分析 第 1 组变量 V 包括 X_1（蜉蝣目）、X_2（襀翅目）、X_3（毛翅目），第 2 组变量 U 包括 Z_1（水温）、Z_2（pH）、Z_3（溶解氧）、Z_4（总氮）、Z_5（总磷）、Z_6（化学需氧量）、Z_7（生化需氧量）。每个变量包括 10 个观测值（5 区 × 2 季 = 10）利用 NOSA2.30 对表 2 和表 3 运算，运算结果见表 5 和表 6。可以看出，第 1 对典型变量的相关系数 $R = 1.0000$，$P = 0.000001$，方差贡献率 99.99%，基本上反映了 EPT 昆虫变量组与环境因子变量组间的关系，两组间具有极其显著的线形相关。第 2 组典型变量线形关系不明显。从表 6 的 $V_1 = 2.8423X_1 - 1.92082X_2 + 0.7627X_3$；$U_1 = -0.017Z_1 + 0.075Z_2 + 0.0685Z_3 - 1.6723Z_4 + 1.9296Z_5 - 0.5559Z_6 + 0.9039Z_7$。可以看出，EPT 昆虫变量组主要昆虫是 X_1（（蜉蝣目）和

表 5 EPT 昆虫变量组与环境因子变量组典型相关系数

Table 5 The canonical coefficient of plankton variables group and environmental factors variables group

序号 Number	典型相关系数 R Canonical correlation coefficient R	Q-统计量 Statistical quantity	自由度 *df*	显著水平（P） Level of significance	方差贡献 Variance contribution	方差贡献率（%） Percentage of variance contribution	累计方差贡献率（%） Percentage of cumulative variance contribution
1	1.0000	63.923	21	0.0000	380000	99.9900	99.990
2	0.9855	13.008	12	0.3685	33.8140	0.0009	99.999
3	0.8992	2.4798	5	0.7795	2.7690	0.0001	100.000

表 6 典型相关变量 V 和 U 的系数

Table 6 The coefficient of canonical variable U and V

典型变量 Canonical variable	X_1	X_2	X_3	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
V_1	2.8423	-1.9208	0.7627							
V_2	1.1920	-0.7046	1.4879							
V_3	2.8901	0.6202	3.2656							
U_1				-0.017	0.075	0.0685	-1.6723	1.9296	-0.5559	0.9039
U_2				-0.3161	0.1584	-0.2751	-2.6322	1.3959	-0.4154	1.0004
U_3				-0.2152	1.3667	0.3964	-0.9034	0.1252	1.0150	0.4822

X_2(襀翅目),环境因子变量组主要影响因子是 Z_4(总氮)、Z_5(总磷)、Z_7(生化需氧量)。第 2 组典型变量间,昆虫变量组主要昆虫是 X_1(蜉蝣目)、X_3(毛翅目),环境因子变量组主要影响因子仍是 Z_4(总氮)、Z_5(总磷)、Z_7(生化需氧量)。

3 结论

丹江口水源的水质,根据“地表水环境质量标准 GB3838-2002”,目前来看,环境因子基本上处于低水平,水质处于低污染状态,水营养度处于低营养状态。石界河(S1)、荆紫关镇(S5)处于上游,水质较好,EPT 昆虫种类较多。西峡(S2)、淅川(S3)、大石桥(S4)处于中、下游,受工农业和生活用水的影响较大,氮磷浓度增加,水的富营度增加,EPT 昆虫密度呈增加趋势。但由于毛翅目不耐污染,密度和种数都有所下降。在 7 个环境因子中,EPT 昆虫 3 目都表现出与氮浓度、磷浓度、生化需氧量极大的相关性。典型相关分析表明,即使在低污染、低营养状况下,EPT 昆虫群体与环境因子群体具有较大的线性相关性。EPT 昆虫的主要因素是蜉蝣目和襀翅目,这可能与毛翅目种类虽表现出不耐污染而数量减少,但减少的变化不大,与环境因子变化不具有敏感性有关。环境因子的主要因素为 :氮浓度、磷浓度、生化需氧量,这表明氮浓度、磷浓度、生化需氧量的变化较其他因子对 EPT 昆虫密度和种类的影响显著,是研究 EPT 昆虫和水环境监测的重要因素。

4 讨论

EPT 昆虫虽仅为 3 目,但包含的科种较多,数量较大,昆虫生理、生态习性有较大差异,相互间有又影响,是一个多变复杂生物群体。EPT 昆虫的生存环境因子较多,因子间又相互影响,对 EPT 昆虫的影响也交互的,是一个多变复杂因素群体。鉴于两群体间的复杂关系,任何一种一对一的单一关系或一对多的回归关系研究,都不够全面、准确、客观。事实上,在一定条件下,必然存在一些主要因素和主要变量,群体间的关系也总可表现为主要的昆虫目和主要的环境因子的关系。因此,研究 EPT 昆虫与环境因子间的群体相关程度,从主要因素和主要变量来把握群体关系才是比较科学、全面、准确的。影响 EPT 昆虫种类和数量的变化,不仅包含本研究的水质理化因子,还包括水流速、河床地质、食物资源、其他生物种群、污染程度等因素。本文的研究虽然是在低污染、采样点相对较少,考虑因素尚不完全的条件下进行的,但作为 EPT 昆虫群体与环境因子群体相关性综合研究,具有一定的开创性和探讨性,结论有重要的借鉴意义。关于高污染、多采样点、更多因素的综合性研究,有待进一步深入。

参 考 文 献 (References)

Editorial Committee of Aquatic Biological Monitoring Manual of State EPA of China, 1993. Aquatic Biological Monitoring Manual. Southeast University Press, Nanjing. [国家环保局水生生物监测手册编委会, 1993. 水生生物监测手册. 南京:东南大学出版社. 17 – 22.]

Editorial Committee of Water and Exhausted Water Monitoring Analysis Method of State EPA of China, 2002. Water and Exhausted Water Monitoring Analysis Method. 4th ed. China Environmental Science Press, Beijing. 56 – 58. [国家环境保护总局水和废水监测分析方法编委会, 2002. 水和废水监测分析方法. 第 4 版. 北京:中国环境科学出版社. 56 – 58]

Huang XQ, Cai DC, 2006. The application of aquatic insects in monitoring and assessing water quality. *Journal of South China University of Tropical Agriculture*, 12(2):72. [黄小清, 蔡笃程, 2006. 水生昆虫在水质生物监测与评价中的应用. 华南热带农业大学学报, 12(2):72]

Ji R, Xie BY, 2006. Spatial distribution of the oriental migratory locust (Orthoptera: Acrididae) egg pods studied with GIS and GS. *Acta Entomol. Sin.*, 49(3):410 – 415. [季荣, 谢宝瑜, 2006. 基于 GIS 和 GS 的东亚飞蝗卵块空间格局的研究. 昆虫学报, 49(3):410 – 415]

Liu JK, 2000. Advanced Hydrobiology. Science Press, Beijing. 401pp. [刘建康, 2000. 高级水生生物学. 北京:科学出版社. 401 页]

Li Q, Yang LF, Wu L, 2006. Canonical correspondence analysis between EPT community distribution and environmental factors in Xitiaoxi River, Zhejiang, China. *Acta Ecologica Sinica*, 26(11):3 818. [李强, 杨莲芳, 吴璟, 2006. 西苕溪 EPT 昆虫群落分布与环境因子的典范对应分析. 生态学报, 26(11):3 818.]

Wang ZJ, 2004. Analysis on spatial distribution and dynamics of *Helicoverpa armigera* (Hübner) eggs, based on GIS and GS. *Acta Entomol. Sin.*, 47(1):33 – 40. [王正军, 2004. 基于 GIS 和 GS 的棉铃虫卵空间分布与动态分析. 昆虫学报, 47(1):33 – 40.]

Xu L, Li GH, 2003. Ecological environment comprehensive treatment in the Mid-Line Project of South-to-North Water Diversion. *Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power*, 24(2):74 – 77. [徐黎, 李光华, 2003. 南水北调中线工程源头生态环境的综合治理. 华北水利水电学院学报, 24(2):74 – 77]

Xu XL, 2001. Biological monitoring of aquatic insects and water quality. *Journal of Laiyang Agricultural College*, 18(1):67. [徐希莲, 2001. 水生昆虫与水质的生物监测. 莱阳农学院学报, 18(1):67]

(责任编辑 :袁德成)